

Propuesta de algunas pautas para guiar la elaboración, a mediados de los ochenta, de los objetivos, metodología y pedagogía de la enseñanza de la informática en cualquier sistema educativo

*Para llegar al punto que no conoces,
debes tomar el camino que no conoces.
(San Juan de la Cruz).*

1. Ambito del estudio

Este documento fue elaborado para servir de base y estímulo a otras aportaciones individuales y al debate que tuvo lugar durante un seminario que, sobre Objetivos, Metodología y Pedagogía de la Enseñanza de la Informática, organizó el CREI en el pasado mes de noviembre. Por el propio título se ve que el tema tiene envergadura; probablemente, es un tema en el que, por muchas y variadas razones, lo más conveniente consista en hallar un plano adecuado de generalidad y ahí pergeñar un esquema coherente de ideas, proyectable luego a otros planos. Construir dicho plano y abocetar ese esquema es, en definitiva, la meta de este documento.

Cuando se piensa en el auge tan intenso y al mismo tiempo tan rápido que ha ido adquiriendo la informática, resulta evidente que es un fenómeno que hay que trasladar al sistema educativo.

Naturalmente, el número y la variedad de factores que juegan en el tema convierten la operación en un problema poco menos que inextricable y, como estrategia defensiva, se tiende dondequiera a fragmentarlo en un montón de pequeños problemas inconexos, cuyas soluciones son asimismo inconexas. Esto es lo que ocurre, por ejemplo, cuando se aborda aisladamente uno solo de los niveles o parcelas de un sistema educativo. Además de inconexos serían estériles intentos de reestructurar parcelas educativas desde una perspectiva unidisciplinar, por importante que parezca, como es el caso de la informática.

El CREI define, en principio, el ámbito del Seminario de forma que abarque a la vez varios, no todos, los eslabones del sistema educativo: lo que en España se llama la Educación General Básica, el Bachillerato, la Formación Profesional y la Enseñanza de la Informática en el trabajo. El campo aplicativo debe comprender España y los países iberoamericanos. Vayan unas reflexiones rápidas acerca de esta definición.

La primera delimitación no parece descaminada, en absoluto. Todo lo contrario. Si se exceptúa la pieza descajada de la Formación Profesional, se aprecia que, dada la vastedad del problema, se ha optado por referirse a aquellos dominios educativos más generales, los que corresponden a todos los individuos que, sin ser profesionales de la informática, son o serán afectados por ésta. 'Computer literacy' es el nombre que se da, en la bibliografía al respecto, a tal preocupación. Aún admitiendo la pertinencia analítica de esta primera diferenciación del sistema educativo, conviene señalar que el problema nunca estará planteado al completo sin considerar profunda-

mente la interdependencia con los dominios educativos especializados.

El estado práctico de la cuestión es más bien pobre. Hay experiencias concretas por aquí y por allá, se han escrito algunas cosas notables y también se han dicho trivialidades y, lo que es peor, barbaridades. Lo cierto es que la informática no ha penetrado en el *corpus* de ningún sistema educativo. Se cierne sobre el tema la sombra inercial del 'retraso del aprendizaje', al que más adelante se volverá en este estudio. Se está todavía más que nada al nivel de las declaraciones de principios. Como muestra de ello pueden valer las recientes conclusiones y recomendaciones de la Conferencia IFAC/IFIP sobre «Training for Tomorrow», celebrada en Holanda en Junio de 1983. En el capítulo segundo, titulado 'Computer Literacy' dicen:

2.1. 'Computer literacy' (que pudiera traducirse por alfabetización informática) podría dividir a la gente en dos categorías, análogas a las de alfabetos y analfabetos. Para prevenir esta situación, se debería introducir en los programas de la educación general (sobre todo, secundaria) la alfabetización informática.

2.2. La alfabetización informática en la educación general no debería incluir sólo temas de utilidad para futuros profesionales de la tecnología de la información. Como una parte de la formación básica de cualquier ciudadano debería considerar temas relevantes para toda persona inmersa en una sociedad de información, verbigracia: información (calidad, características, etc.), algoritmización, posibilidades y problemas de los sistemas de recuperación, aplicaciones, impactos sociales, etc.

2.3. El trabajo con computadores en las escuelas debería hacer hincapié en un enfoque de resolución de problemas, que ofrece a la escuela una posibilidad de enseñar cómo afrontar la información en nuevas situaciones. De esta forma, los estudiantes podrán alcanzar prerequisites básicos para su futuro puesto de trabajo, y no sólo destrezas y conocimientos, sino también actitudes e interiorizaciones.

Desarrollar y poner en práctica parecidos principios requiere una tarea ardua, pero factible, siempre, que se ponga en relación con un sistema educativo concreto y determinado. Los sistemas educativos suelen ser reflejo de las sociedades en que se insertan y éstas difieren entre sí por muchos parámetros culturales y económicos. La pregunta ¿qué hay que enseñar de informática a un muchacho de dieciséis años? obtendrá tres respuestas distintas en los Estados Unidos de América, en España y en Paraguay, cada una impregnada de poderosos argumentos. Es obvio que algunas sociedades están tan lejos de estar estructuradas como sociedades de información que la pregunta anterior ni siquiera les concierne, no hay más que echar una ojeada a las tablas estadísticas de la UNESCO para comprender que es absurdo hablar de alfabetización informá-

tica allí donde esté pendiente la alfabetización, sin adjetivos.

Por tanto, la imposibilidad, e inutilidad de ajustar detalles en cuanto a la enseñanza de la informática en los niveles educativos precitados, con simultánea validez para sistemas tan dispares como los que rigen en el conjunto de los países iberoamericanos, aconsejan adoptar el siguiente plan de puntos básicos:

Primero: Recopilar algunos rasgos generales de índole educativa que deberían configurar el ambiente de enseñanza de la informática o construir su sustrato conceptual, según los casos. Se desarrollará en los capítulos *Paradigma de Complejidad y Educación, Aprendizaje de Innovación*.

Segundo: Trazar ciertos rasgos generales de índole fundamentalmente técnica acerca de la informática y otras tecnologías conexas. El enfoque será crítico y orientado mayormente a poner de relieve las deficiencias esenciales que puedan estimular resonancias en los esquemas educativos. Se desarrollará en un capítulo titulado *Reflexión Sociotécnica sobre la Informática*.

Tercero: Describir algunos rasgos de índole sociotécnica, cuyo objetivo es proporcionar ejes orientativos para una contextualización social de la informática, basados en la idea de que el desenvolvimiento técnico de la informática es realmente muy distinto en una sociedad y en otra, dato trascendental para configurar socialmente las respectivas herramientas educativas. Se desarrollará en el capítulo denominado *Una Cuestión de Entorno: las Subculturas Informáticas*.

Toda sociedad, a medida que vaya haciendo evolucionar su organización hacia estructuras alimentadas por flujos crecientes de información, sentirá la necesidad de adecuar su aparato educativo a esa realidad. El cuadro de rasgos que aquí se esboza puede servirle de guía, pero nada le evitará tener que desarrollar sus propios Objetivos, Metodología y Pedagogía en busca de un equilibrio con otras realidades que pugnan por entrar en el sistema educativo y con vestigios, hábitos o temáticas que se resisten a salir.

Así pues, el autor de la ponencia cree que si tuviera que resumir en un título el ámbito de este estudio, del documento y del Seminario, el más apropiado sería: **PROPUESTA DE ALGUNAS PAUTAS PARA GUIAR LA ELABORACIÓN, A MEDIADOS DE LOS OCHENTAS, DE LOS OBJETIVOS, METODOLOGÍA Y PEDAGOGÍA DE LA ENSEÑANZA DE LA INFORMÁTICA EN CUALQUIER SISTEMA EDUCATIVO.**

El factor tiempo juega en todo esto un papel de primer orden y se tiene en cuenta, en lo posible, en la presente propuesta. Quiere decirse que algunas de las ideas que se manejarán poseen una o varias de las siguientes características: son nuevas, poco difundidas, no percibidas o percibidas erróneamente, de uso poco común, presentadas habitualmente en contextos diferentes, etc. Son todas razones que sugieren la conveniencia de que los ojos y los cerebros se abran para debatirlas y perfeccionarlas y también convocan el temor de que las diversas formas de inercia mental retrasen su difusión o desvirtuen sus contenidos o su código.

Esta última posibilidad nos devuelve otra vez al factor tiempo. Antes se mencionó el concepto de 'retraso del aprendizaje'. En el informe al Club de Roma «Aprendizaje, horizonte sin límites», se define el retraso del aprendizaje como *el tiempo que transcurre desde que se percibe por primera vez la necesidad de un cambio hasta que se acepta dicha necesidad y se pone en práctica el cambio*. Asimismo puede leerse allí que, en algunos casos, el retraso alcanza treinta años o más.

Producen desasosiego evidencias históricas de esta naturaleza. Aún se refuerza el desasosiego cuando el cambio se refiere a fenómenos que están cambiando ellos mismos, como es la informática. Si nos preguntamos ahora ¿qué hay que enseñar de informática a un niño de diez años?, tenemos que evitar por todos los medios responder echando mano de los conceptos informáticos que hoy emplea todo el mundo.

Decía San Juan de la Cruz que «para llegar al punto que no conoces, debes tomar el camino que no conoces». Es éste un pensamiento ad hoc, a condición de tomarlo como filosofía y no como coartada, ya que es bien cierto, aunque resulte paradójico, que, no sólo no sabemos cómo será la informática dentro de unos años, sino que tampoco sabemos bien qué es la informática. Parece necesario indagar antes sobre esto último si se pretende aventurar una previsión sobre lo primero.

Una precisión final. Tras darle algunas vueltas al asunto, el autor del documento ha decidido utilizar la primera persona verbal en su redacción. Así quiere subrayar su autoría y su responsabilidad sobre muchas de las ideas que se vertirán en el documento. Piensa, además, que lo más lógico sería que en estos trabajos se expusiera siempre un breve extracto del historial del autor (emisor) a efectos de que el lector (receptor) contrastara, dispusiera o adaptara su aparato decodificador al mensaje que está recibiendo.

Y dada la dinámica de este tipo de eventos: *documento-réplicas-discusión en seminario-conclusiones*, el lector que replica se convierte en emisor y ha de suministrar su historial referente al tema debatido. (Véase en anexo el historial del autor).

2. Paradigma de complejidad

Vivimos en un mundo complejo. Esta frase, o cualquiera otra derivada, se oye todos los días y expresa una verdad rotunda, ante la cual parecemos sentirnos desarmados.

La complejidad, de la que se han hecho muchas definiciones, es, esquemáticamente, una suerte de característica —indefinible fuera de contexto—, que mediría el grado cultural o de avance tecnológico de una sociedad. Dicho con otras palabras, la complejidad mediría, entre otras cosas, el nivel de sofisticación que requieren las «interfaces» que, para vivir, tienen que desarrollar los seres humanos en su relación con otros seres humanos, consigo mismo, con la naturaleza y con sus propios artefactos (artefacto es, en sentido general, tanto una máquina como una institución; y una interfaz es un «aparato» relacional).

Pretender mejorar nuestras cotas de bienestar sin aumento de la complejidad es una utopía. Pero la complejidad tiene dos caras. Acompaña a las comodidades, multiplica las posibilidades de acción, enriquece el espíritu. También produce rutina, incertidumbre, frustración, violencia y hasta locura, margina a muchos seres humanos, desbarata las leyes económicas, perturba los equilibrios naturales, genera ruido, desorden, provoca movimientos de retorno a un ingenuo primitivismo, etc.

Es necesario romper con ese ¿sentimiento? utópico en el que con tanta facilidad se cae. La complejidad está ahí, es compañera de nuestros desarrollos, siendo producto y a la vez causa de la acción del hombre. De manera que éste tiene un reto ante sí: profundizar el concepto, la estructura y la arquitectura de la complejidad y difundir su metodología.

Creo que fue Bachelard quien dijo: «no existe lo simple, sólo lo simplificado». Estamos enseñados a emplear mecanismos mentales de corte analítico y reduccionista,

que, cuando son insuficientes para abordar un determinado nivel de complejidad, nos hacen caer en simplificaciones abusivas y erróneas y hasta en simplismos. Y es que la frase anterior hay que interpretarla hoy a través de una metodología de la complejidad: las simplificaciones serán pertinentes si proceden de una real comprensión de la complejidad.

Precisamente, la informática puede verse, desde esta óptica de la complejidad, como un conjunto de técnicas potencialmente aptas para construir la instrumentación relacional antes citada (se utiliza la voz 'instrumentación' en el sentido más amplio que quepa). Una primera e importantísima consecuencia, sobre la que se redundará en capítulo posterior, es que la informática debería ser construida y usada dentro de una metodología amplia de la complejidad. No es éste el lugar oportuno para extenderse en ello, así que sólo se le deja apuntado al lector que investigue o reflexione por su cuenta en el rastro de efectos negativos que va dejando la cara «oculta» de la complejidad informática.

De cualquier modo, la informática es un caso particular. Volvamos a la complejidad. La metodología de la complejidad es interdisciplinar (quizá sería mejor decir transdisciplinar) y abstracta. Constituye un campo actual de investigación, al que acaso no se le preste la debida atención. Se basa *en parte* en el enfoque sistémico y por consiguiente, es posible decir que contamos desde hace tiempo con elementos conceptuales y técnicos para abordar la complejidad. Quien desconozca del todo este campo, podría introducirse en él con la lectura del libro de J. Rosnay «El Macroscopio», que descubrí y traduje allá por el año 1976. Sus temas centrales son la energía, la *información* y el tiempo.

Puesto que estoy preconizando primordializar la metodología de la complejidad, me creo obligado a detenerme unos momentos para unas puntualizaciones acerca de los obstáculos que hay que sortear.

En primerísimo lugar, el mundo del conocimiento está organizado desde hace varios siglos, y de manera creciente en éste, por fragmentos. Afirmación que es válida hasta en lo que concierne al mundo físico, cuya visión actual como conjunto de objetos separados está en crisis. Así lo ha dicho el Profesor Toraldo de Francia este verano en la Universidad Menéndez Pelayo (Sítges): «tal concepción es consecuencia de una burda adaptación nuestra para poder vivir en un mundo macroscópico sustentado por una realidad microscópica».

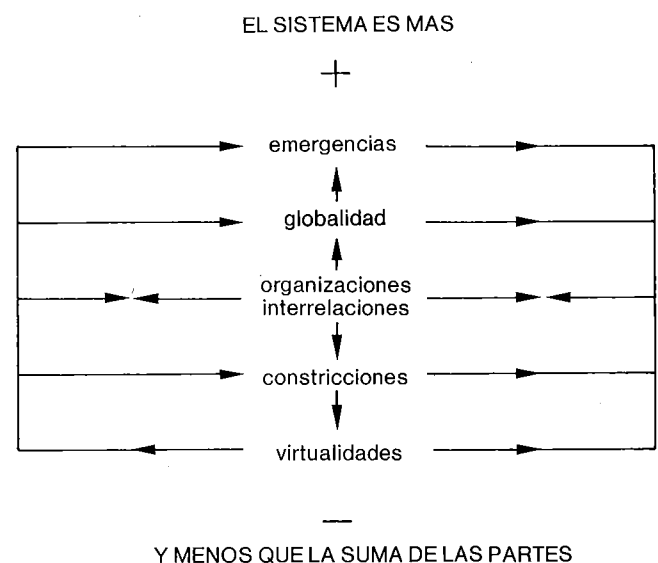
No hay dos culturas, como dijo Snow, sino muchas culturas y subculturas y subsubculturas. Como consecuencia, la educación está departamentalizada, lo que retransmite un conocimiento cubista, no ya distorsionado sino caótico. Una inercia tan descomunal constituye en verdad un obstáculo enorme para un enfoque multidisciplinar, porque es una inercia organizativa, que se genera día a día en las mentes de todos nosotros. Todavía es casi una temeridad, o al menos una aventura incierta, investigar una tesis inter o multidisciplinar y sobre quienes se han atrevido a transitar científicamente terrenos interfronterizos o de nadie, ha caído con frecuencia el anatema del establecimiento académico.

Si hablamos del enfoque sistémico, que es, podría decirse, la manifestación varia de la filosofía, teoría y técnicas de sistemas, habrá que reconocer que muchas veces ha sido objeto de una dispersión exagerada en sus planteamientos; otras veces, se ha caído en su banalización y, tantas otras, en una contradictoria superespecialización. Sobre lo último, es preciso subrayar cuántos sistemistas a la violeta, ignorantes absolutos de los mínimos perfiles del paradigma de complejidad, han causado un daño irreparable a esta forma de pensamiento y de acción.

De otra parte, no es posible construir ninguna auténtica metodología de la complejidad sólo con el enfoque sistémico. Morin y otros pensadores nos han señalado cómo la noción de sistemas es un paradigma de orden, y por tanto un paradigma incompleto. La teoría general de sistemas y la cibernética elaboran conceptos como organización, información, regulación, propiedades emergentes, etc. y olvidan o trivializan la desorganización, el ruido, la inestabilidad, las virtualidades.

Naturalmente, tal incompletitud se paga con ineficacia. El enfoque clásico de sistemas, que ha demostrado su utilidad ante tantos problemas, lleva en su propia esencia el embrión de su fracaso en medio de circunstancias de gran complejidad. Ya lo ha experimentado en todas aquellas situaciones en las que los elementos no se sujetan a un comportamiento sencillo y modelable: en economía, en sociología, en biología,...

En definitiva, si la metodología de la complejidad ha de seguir montándose básicamente sobre la noción de sistema, estoy con Morin (Morin, 1977) en que dicha noción tiene que fundamentarse sobre el siguiente esquema, que presenta dos caras:



Resumiendo: desarróllese, enséñese y aplíquese la metodología de la complejidad de manera a poder sofisticar las relaciones de los seres humanos (con otros seres humanos, con la naturaleza y con sus propios artefactos) en un modo que minimice el conjunto de los efectos «ocultos» de los sistemas. En este programa, como examinaremos más tarde, tendría la informática un papel que jugar.

Una y otra vez, en este estudio, confluiremos desde diversos ángulos, sobre el tema clave de la complejidad.

3. Educación: aprendizaje de innovación

Es indiscutible que la enseñanza de la informática va ligada fuertemente a las necesidades económicas del instrumental técnico y administrativo de las sociedades industrializadas.

En los Estados Unidos de América —leo en la revista IEEE Spectrum de Junio de 1983— «el computador personal invade la educación superior». Según uno de los responsables del Stevens Institute of Technology de Hoboken, un ingeniero o científico profesional graduado en este Instituto debe ser fluido en el uso del computador. El presidente de la Universidad Carnegie Mellon cree que la mayoría de sus estudiantes, a lo largo de su vida profe-

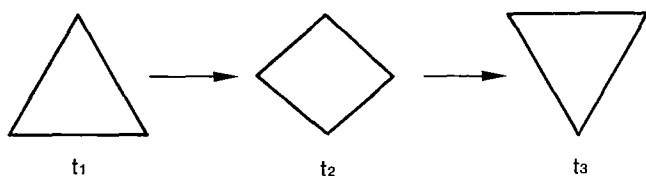
sional, tendrán que usar un computador personal. Para el director del departamento de ingeniería eléctrica y de computadores, de la Universidad de Drexel, familiarizar a los estudiantes de cualquier departamento con el uso de este tipo de computadores es una cuestión de competencia para el mercado de trabajo. Unos 21.000 estudiantes, que tendrán que adquirir de su propio bolsillo computadores comerciales por un precio generalmente superior a los 1.000 dólares, severán en muy breve plazo afectados por estos programas en los Centros Universitarios mencionados y en el Clarkson College of Technology y en la South Dakota School of Mines and Technology.

En una línea muy semejante, aunque más dramática, se expresaba un presentador de la TV americana durante un panel emitido el 7 de abril en Chicago (véase News Supplement to IEEE Spectrum, Vol. 7, No 6, Junio 1983): «The world is turning to computers; I don't have a computer, my children won't be exposed to computers, and they won't be able to get a job when they grow up».

Se conoce bastante bien la teoría económica de la educación. Es admitido por todos que aumentar la proporción de recursos destinados a la educación tiene por efecto, años después, un cambio en el comportamiento económico y social de la comunidad, que, a su vez, estimula la demanda educativa. De hecho, el capital humano, constituido por las capacidades y conocimientos técnicos de las personas en disponibilidad de trabajar, es considerado como uno de los factores indispensables en el proceso de producción.

La decisión acerca del volumen de recursos y su asignación a los distintos sectores y niveles educativos configuran un problema político mayor. Los cambios tecnológicos que han alumbrado las sociedades industrializadas generan, entre otros, los siguientes impactos en el ámbito de la educación.

- a) Con el desarrollo industrial, la estructura ocupacional tiende a evolucionar siguiendo esta secuencia de formas geométricas:



donde la parte superior representa la cantidad de personas con elevados niveles educativos y preparación profesional y la inferior, todo lo contrario. Cada vez un número más elevado de ciudadanos recorre un más dilatado ciclo de educación, que llega a alcanzar los veinte años continuados en su cota máxima, antes de entrar en el aparato productivo. Y el esfuerzo sigue posteriormente en acciones específicas más o menos puntuales. Correlativamente, los contenidos tecnológicos presionan para extenderse por todo el arco educativo.

- b) El porcentaje del PNB destinado a la educación formal aumenta con el nivel de desarrollo, situándose para los países desarrollados entre un 5 y un 7 % (5,2 % promedio de 1967) y entre un 2 y un 4 % (3,6) para los países en vías de desarrollo.
- c) La pérdida de valor práctico (obsolescencia) de los conocimientos técnicos, sometidos a la infatigable erosión de los avances científicos y tecnológicos, crea una problemática peculiar, que se convierte en una presión sobre el sistema educativo.

Cada país se encuentra en un estado determinado y distinto del abanico que se acaba de dibujar. Los países no desarrollados o en vías de desarrollo, se esfuerzan en acelerar este proceso evolutivo afrontando sacrificios desproporcionados para aumentar los recursos en circunstancias globalmente adversas: necesidad de recuperar retrasos de escolaridad en los niveles básicos, deuda exterior, presión demográfica, dependencia tecnológica, etc. Resulta frecuente la práctica de asignar cierta cantidad de recursos al desarrollo de niveles educativos superiores profesionales, lógicamente detrayéndolos a otras necesidades más básicas, con la idea de romper por ahí el círculo vicioso de la dificultad para entrar en el umbral catalítico del desarrollo. A falta de otras medidas complementarias, tal estrategia no ha producido siempre los frutos esperados y, por lo general, ha sido muy útil para abrirles mercados a los productos de países más desarrollados y hasta para dar salida a tecnologías allí obsoletas.

Desde un punto de vista algo más amplio que el meramente economicista, no todo son ventajas para los países más desarrollados. Los países menos desarrollados podrían sacar partido del estudio de los errores cometidos por aquéllos y ésta es una ventaja objetiva, que conduciría a obtener mejor provecho de los recursos invertidos. Por otro lado, nadie ha demostrado nunca que siempre el volumen de recursos destinado a educación guarde relación de causa a efecto con el nivel de desarrollo económico y mucho menos con la consecución de cotas sociales, de calidad de vida y de justicia. Bien podría ser, como ya se ha apuntado, que, sobrepasado otro cierto umbral, las cosas ocurrieran más decididamente en el sentido señalado en el capítulo sobre complejidad. Los países en vías de desarrollo tienen necesidad de elaborar una sabiduría del desarrollo, incluyendo el desarrollo de la educación.

Está, por ejemplo, el tema, —endiabladamente complicado desde cualquier punto de vista— de definir las funciones, estructura, contenidos y metodología del sistema educativo de un país. La tensión por atender a la vez a los fines de transmisión de la cultura, de transmisión de destrezas, de transmisión de valores y de preparación para la vida activa de trabajo, cada país la resuelve de una manera, condicionado por su momento político, económico y social. La resultante es un conjunto, siempre insatisfactorio, de ramas con etapas y ciclos, orientaciones, interconexiones, por donde fluyen educativamente los ciudadanos camino de su inserción en el sistema social. A mi ingenuo entender, es en este diseño, que pudiéramos llamar técnico, del sistema educativo, donde pueden ganarse puntos a lo que tradicionalmente es esperable de la pura proporcionalidad con los recursos económicos asignados.

El sistema social inicia siempre y recorre derroteros no previstos en el sistema educativo. Ya que en realidad el sistema educativo forma parte del sistema social, ésta es una manera impropia de hablar, con la que quiere significarse que *las actividades de la sociedad desajustan su mismo aparato de transmisión educativa*.

Una buena porción de dichas actividades, pero nunca la totalidad, está ligada al proceso de producción. Las actividades culturales, las actividades de vivir, que se desenvuelven entre las numerosas instituciones humanas, y las actividades de ocio ocupan su lugar y contribuyen al desfase permanente del sistema educativo.

Tener esta perspectiva en mente es obligado cuando se estudia la introducción de la enseñanza de la informática en el sistema educativo.

En muy pocos años, el computador ha penetrado en todos los sectores de actividad: en el comercio (control de inventarios, facturación, gestión del personal, control financiero...), en la industria (gestión de la producción, control de calidad, automatización, seguridad), en ciencia

(investigación espacial, investigación química, genética, nuclear,...), en ingeniería, en economía (modelación predictiva, estudio de poblaciones, asignación de recursos, gestión de empresas...) en medicina (diagnóstico, monitorización, documentación, gestión hospitalaria...), en educación (instrucción asistida por computador, ayuda al cálculo, simulación de experimentos...), en arte (composición musical y pictórica, filmes animados, análisis de textos literarios,...), en ocio (juegos...), etc.

Semejante ubicuidad del computador en medio de la realidad vital de la tecnosfera transmite, por contraste, una sensación de vacío al iluminar su correlato en el sistema educativo, sensación tanto más desoladora en la medida en que se produzca en un país más industrializado.

Muchos consideran atroz ese desequilibrio. Conveniría preguntarse por otros desequilibrios. Siendo objetivos y al mismo tiempo relativistas, observaremos que en la mayor parte de las actividades mencionadas, la mayoría de los seres humanos intervienen como sujetos pasivos, a los que poco importa funcionalmente que allí haya o no haya un computador. Otras muchas situaciones requieren su concurso personal más activo y ponen de manifiesto la deficiencia generalizada de la población en conocimientos básicos sobre economía, sobre derecho, sobre medicina, etc. o en destrezas como expresión corporal, defensa personal, etc.

Si uno se hace estas consideraciones, tiene que comprender inmediatamente que la introducción de la enseñanza de la informática en los niveles educativos de primaria y secundaria ha de ser un asunto muy bien pensado, ya que no se justifica sólo por la universidad y vigor de sus aplicaciones.

Desde otra óptica, sobre la que volveré más adelante, el computador pone en acción facetas de la inteligencia que ejecutan tareas de razonamiento abstracto o formal, lo que, más que interesante, es muy importante. Pero, asimismo, *la vida de trabajo y la vida de ocio pueden estar llenas de actividades en las que son preferibles destrezas de tipo memorístico, verbal o psicomotriz: manejo de teclados, aparatos eléctricos, kits varios, máquinas herramientas, instalaciones mecánicas, representaciones teatrales, etc.*

Un sistema educativo no tiene capacidad para absorber todo lo que se viene encima, por grandes que sean las presiones del sistema social. Porque, además, éste, pese a que, como decimos viene alimentado por un sistema educativo al que coge delantera, está continuamente generando impulsos de cambio. Sólo en el terreno técnico y científico, el mundo avanzado produce incesantemente tecnologías de la energía, de la materia, de la información y de la vida.

Tamaño circunstancia le plantea a todo sistema educativo la necesidad de estar construido en torno a un objeto fundamental: conducir a un aprendizaje innovador.

El informe al Club de Roma «Aprendizaje, horizonte sin límites» define el *aprendizaje innovador* como el *instrumento para salvar la distancia que media entre la creciente complejidad del mundo y nuestra capacidad para hacerle frente.*

Ser anticipador y participativo son los rasgos principales del aprendizaje innovador y entre los elementos que sirven para transmitir cualquier tipo de aprendizaje: *lenguajes, útiles, valores, relaciones humanas e imágenes*, el informe resalta el énfasis que el aprendizaje innovador requiere en los tres últimos.

El deseo de anticipación («y vivir al día, es morir al atardecer», dice un poema) no se materializa así como así. Retomando el concepto de complejidad, lo que el informe desconoce es que ésta, calificada como causa de la necesidad (necesidad relativizable al nivel de desarrollo de

cada sociedad, no lo olvidemos) del aprendizaje anticipador, está siendo ya objeto de estudio y por lógica debería devenir su eje motor.

Propongo que el aprendizaje de innovación sea embebido dentro de una metodología de la complejidad. Sé bien que llevar tal cosa con carácter general a la realidad puede ser un proyecto a largo o muy largo plazo. Tal vez la estrategia consista en empezar por algún lado, a condición de surcar los caminos de la sabiduría del desarrollo.

Veamos el asunto desde la informática. Axiomatizemos que la informática debe recrearse intelectualmente en la metodología de la complejidad. Es un buen principio. Ahora queremos pasar a considerarla como objeto de aprendizaje (enseñanza de la informática), pero también como instrumento general para el aprendizaje de innovación.

Contribuir a tales objetivos dentro de la sabiduría del desarrollo, nos impone a los especialistas en informática la disciplina de dejar por un tiempo de ser especialistas: refrenar nuestro entusiasmo y los entusiasmos exógenos, abandonar el argot y nuestra visión fragmentaria del mundo y encuadrarnos en un marco de intereses generales. Tarea difícil, a la que espero coadyuvar en las próximas páginas.

La tarea consiste en una *reflexión sociotécnica sobre la informática* (subrayo la palabra 'sociotécnica' porque creo que ya no es conveniente nunca jamás un enfoque puramente técnico de las técnicas). *¿Qué es lo esencial en la Informática? ¿Cuál es su posición relativa dentro del conjunto de las tecnologías? ¿Cómo es su dinámica interna, quiero decir las fuerzas principales de su evolución? ¿Cuáles son sus relaciones con el contexto social, y no sólo con las actividades productivas?*

El próximo capítulo atenderá, aunque de una manera por muchas razones incompleta, a estas cuestiones.

4. Reflexión sociotécnica sobre la informática

4.1 Sobre informática y tecnologías de la información

Técnicamente, la informática es sólo un elemento del conjunto de las tecnologías de la información. Las tecnologías de la información son sólo un elemento (aunque uno de los más modernos) del conjunto de las tecnologías creadas por el ser humano. Creo conveniente subrayar esta jerarquía, porque habitualmente es desconocida o tergiversada.

«Biológicamente» o, si se prefiere, antropocéntricamente, las mismas tecnologías pueden clasificarse en otro modo. La clasificación anterior responde a un criterio referido al tipo de cantidad relevante procesada: energía, materia, información, etc., aunque sepamos que, primariamente, todo sea energía. Una clasificación antropocéntrica mira las tecnologías como saberes e instrumentos complementadores (mejor se diría potenciadores) de las capacidades del hombre: sus órganos ejecutivos o efectores, sus órganos receptores y su sistema nervioso. Entre las tecnologías de la información, la informática ocuparía el primer rango si establecemos provisionalmente un paralelo con las etapas evolutivas de la especie humana, contando con que su última y aún no bien controlada adquisición (*homo sapiens/homo demens*) es el cerebro racional.

En puridad, la analogía cerebro-computador no es nada convincente y sí burda por todos los costados. Cualquier neurofisiólogo, que conoce bien la complejidad del cerebro (no el cerebro), se echaría las manos a la cabeza, sobre todo después de profundizar en algunos pormenores estructurales y funcionales del computador, que son bási-

camente simples. Pese a ello, un computador adquiere en su conjunto un notable grado de complejidad, claro está que ni por asomo parangonable con la del cerebro.

Bien, salvando todas las distancias, el computador representa una función amplificadora de la inteligencia humana. Le permite a ésta realizar cálculos y almacenar/recuperar datos con una velocidad y seguridad normalmente fuera de su alcance. Le permite manejar informaciones que no llegan al umbral de sensibilidad de los sentidos. El computador, a cambio, exige un plan detallado y unas instrucciones completas para funcionar. Dicho con otras palabras, el computador amplifica un aspecto de la inteligencia, con la condición de que quien lo programa realice previamente un acto profundo de inteligencia.

Acabo de mencionar la condición esencial del computador con vistas a la educación general; el computador entrena la inteligencia, la desarrolla; y esto es independiente de que quien reciba dicho entrenamiento vaya a dedicarse posteriormente a la informática. Cuestión a tomar en cuenta para aquellas etapas de la educación general en que pueda encajar con el nivel de desarrollo psicológico del niño.

Tal es un punto de vista del computador como herramienta para el aprendizaje. Y es una opción clara, pero...

Aún cuando no se sepa a ciencia cierta en qué consiste ni cómo funciona, se ha demostrado una y mil veces que la inteligencia humana es un diamante con muchas facetas. El computador será herramienta indispensable para *ayudar* a tallar una de estas facetas, aquella que se ocupa a grandes líneas de resolver problemas lógicos. El resto de las facetas requiere distintas herramientas, unas procedentes de la tecnología moderna y otras, viejas de siglos. Tema para meditación: el computador no está solo como instrumento para el aprendizaje.

Socialmente, las tecnologías de la información producen un impacto muy variado. Desde un punto de vista económico e industrial, la informática ejerce una influencia creciente y muy bien percibida por núcleos relativamente reducidos. La gran mayoría de los intelectuales y, desde luego, el gran público son más sensibles sin embargo a otras tecnologías de la información. Basta citar como ejemplos la telefonía, la radio y la televisión, que afectan de manera mucho más intensa las vidas de más personas en más países. Es decir, desde una óptica de percepción social, la informática no ocuparía hoy ninguno de los primeros puestos.

Si nos fijamos en la información propiamente dicha, estamos penetrando en un mundo apenas explorado. Los significados de la información abren campos interpretativos sujetos a parámetros innumerables. La informática es vehículo de una información significativamente plana y expresada en formatos y sustratos materiales ajenos a nuestros sentidos.

Hasta ahora, el hombre se mueve más por la información que llega a sus sentidos y por sus modos de interpretarla y vivirla.

A modo de resumen, creo que para situar correctamente la enseñanza de la informática habría que comenzar por valorarla desde diversos ángulos, abatiendo con ello ciertos reduccionismos presuntuosos.

Así, considerada la información en su realidad exclusivamente física, vemos que la informática no es la tecnología de la información, como, a menudo, se oye o se lee, sino una parte de las tecnologías de la información, que son parte de las tecnologías. La información ha devenido en una entidad compleja. Una manera de huir de abusivas simplificaciones, lo que es al tiempo una demanda al sistema educativo, es estudiar conjuntamente la información y su *sistema* de tecnologías. En un ensayo que he escrito hace unos meses, titulado «Las tecnologías de la ter-

cera revolución de la información» se contiene un modelo a escala muy reducida de lo que quiero decir.

Más: el instrumento básico de la informática, el computador, no es el amplificador de toda la inteligencia, sino sólo de una faceta, que es, tal vez, la faceta más valorada en la cultura occidental. Por tanto, su papel indudable como herramienta para el aprendizaje debe diseñarse en equilibrio con otras herramientas y procedimientos.

La informática, hasta ahora, ha producido menor impacto social que otras tecnologías. Semánticamente, vehicula una información pobre en relación con las múltiples dimensiones de las actividades humanas. Sabemos que operativamente su impacto sobre la sociedad será brutal, aunque tal cosa sea percibida hoy con menor nitidez. El estudio global de la información y su sistema de tecnologías, propuesto arriba, ayuda a comprenderlo y anticiparlo. ¿Se llegará a una ciencia de la información?

4.2 Sobre tareas básicas en informática

Hoy por hoy, la vertiginosa evolución de las técnicas informáticas ha conseguido la proeza de exigir en un plazo de pocos años la implantación de la universidad de planes de estudio completos y exclusivos. Es de ver con qué andamiajes tan débiles y hasta con qué arbitrariedad de criterios construimos, quienes nos dedicamos a esa tarea, las enseñanzas de informática en la universidad. Somos víctimas de un proceso tecnológico desbordante.

¡Qué desafío, en parecidas circunstancias, el encontrar núcleos (relativamente) invariantes y anticipadores para incluir en nuestros programas y más todavía en los troncos generales de la educación primaria o secundaria! De nuevo, se ilumina la frase de San Juan de la Cruz. Personalmente, no veo otro camino que el de bucear algo en el pasado y proyectar algunas luces sobre el futuro que ya está trazado, el futuro muy próximo.

En mi ensayo sobre las Tecnologías de la Información relaciono la informática con el impulso humano de abstracción intelectual y de modelación. Cuando, hacia 1945, von Neumann y colaboradores diseñan el primer computador de programa almacenado, están rematando un cúmulo de esfuerzos de muchos pensadores e investigadores en lugares y tiempos diferentes. Siguiéndoles la pista durante los tres siglos anteriores, se llega a ciertas conclusiones.

El computador representa el cúlmén histórico de *tres corrientes de desarrollo: las máquinas calculadoras, las máquinas estadísticas y las máquinas lógicas*.

Genéticamente, el núcleo de la informática es matemático. Son matemáticos la mayoría de los personajes que han aportado ideas clave al conjunto de conceptos que han conducido al computador y a la teoría básica de la informática: Pascal, Leibniz (Europa, siglo XVII); Boole, Babbage (Inglaterra, siglo XIX); Shannon, von Neumann, Turing (USA, Inglaterra, décadas de los 30 y 40, siglo XX). Por comentar sólo algunas de las últimas aportaciones, Shannon demostró en su tesis (1937) que la matemática adecuada para el análisis de los circuitos de conmutación con relés era el álgebra —matemática para (según Bertrand Russell)—, que Boole elaborara en sus «The laws of Thought» en 1854, Turing, gran lógico inglés, ideó un simplísimo computador abstracto, capaz de cualquier cálculo y concepto angular de la informática.

De la investigación de la materia ha surgido la electrónica. El computador, que no es sino la encarnación de unas abstracciones matemáticas, encuentra en la electrónica sustrato físico para sus partes más nobles y a raíz de la década de los 60 la microelectrónica impone su ley, generando un intenso torbellino evolutivo dentro de la informática.

En esquema sería posible distinguir tres clases de face-

tas en la informática: una esencia matemática, «suerte de núcleo bastante independiente de su corporeización física o instrumental»; esta misma materialización y la aplicación a una problemática concreta. La primera faceta viene marcada aún por sus orígenes, la segunda, por las aportaciones de la física y de la ingeniería y la tercera, por el género de actividad en que se ejerce.

La segunda vertiente, que podríamos acaso denominar rama tecnológica-física de la informática, es dominante. Oculta a la primera y condiciona a la tercera. Los campos aplicativos de la informática se desarrollan en función de los progresos de la tecnología física y, al tiempo, se superan a ésta. Computadores, microcomputadores, periféricos, lenguajes, sistemas operativos, diverso software de comunicaciones y de bases de datos, industrias y mercados, etc. he ahí el resultado siempre cambiante de la faceta dominante.

Desafortunadamente, toda esa fuerza de evolución impide la estabilidad mínima que requiere un sistema educativo formal y estimula una oferta irregular de formación. De las tres facetas y no sólo de cada una de ellas ha de haber algo que captar para el terreno de la enseñanza, algo común y básico. Nos parece evidente que esas facetas representan los tres grandes veneros que alimentan los ríos por donde discurre la informática: respectivamente, la rama fundamental de la informática, la rama instrumental y la rama aplicada (mil y una ramas; y cuando hablo de aplicación, me refiero al uso del instrumento para resolver un problema concreto).

Me atrevería a decir (contra lo que algunos piensan) que los aspectos fundamentales tienen o tienen que tener que ver tanto con la rama instrumental como con la rama de sus aplicaciones.

Lo que es común y es básico es el concepto de algoritmo. El diseño, análisis, expresión, ejecución y utilización de algoritmos constituye la actividad central en informática. Un algoritmo consiste en una secuencia de pasos para resolver un problema de computación. Aunque el concepto de algoritmo es muy antiguo y por tanto independiente de los computadores, hasta el punto de que las principales contribuciones matemáticas sobre computabilidad preceden incluso en unos años a la construcción del primer computador, ha adquirido carta de naturaleza con la difusión de estos instrumentos.

Analizando el tipo y el orden de las tareas que requiere el comercio con los algoritmos encontraremos, pues, las señales principales para acotar y organizar un área relativamente permanente de tráfico de la enseñanza informática (tanto en lo que concierne a *materia de aprendizaje* como a *instrumento para el aprendizaje*). Son éstas:

- a) Diseñar un algoritmo que describe la resolución del problema.
- b) Expresar el algoritmo en forma de lista de instrucciones en un lenguaje conveniente de programación.
- c) Ejecutar el programa en un computador.

Antes de mostrar cómo en este esquema de trabajo se juntan rasgos de las tres ramas, conviene sintetizar algunas observaciones.

En primer lugar, la tarea de diseñar un algoritmo es tarea intelectual por excelencia. Se apoya exclusivamente en los recursos mentales y en un conocimiento profundo del problema. Los recursos mentales son lógica; muchas veces intuición; técnicas generales, bastante bien conocidas hoy, de construcción de algoritmos; y manejo preciso de la propia lengua natural. Todos, como se ve, aspectos que ofrecen materia clara de aprendizaje y que, por el momento, no implican necesidad alguna del computador. El conocimiento profundo del problema es una circunstancia dotada de una dinámica dialéctica: al ser condición

imprescindible para diseñar un algoritmo, esta tarea se convierte en herramienta para profundizar más en el conocimiento del problema. Existen también técnicas generales de resolución de problemas, cuyo interés crece con la dificultad o magnitud del problema.

El algoritmo puede expresarse por medio de la propia lengua natural estilizada por unas normas. Quiero subrayar aquí cuánto valor conceden al dominio de la propia lengua, con sorpresa para muchos que no han reflexionado acerca de qué cosa sea la informática, científicos como Dijkstra.

La tarea inmediata de trasladar la expresión del algoritmo en lengua natural a un lenguaje artificial es la tarea de programación aunque, a menudo, se ha convertido en una mera tarea de codificación. Normalmente, se usan lenguajes de alto nivel que, en otro tiempo, se decían universales (universales, porque, gracias a los compiladores, podían «relativamente» correr en máquinas de estructura diferente). El programador está obligado a conocer y utilizar correctamente la sintaxis y la semántica del lenguaje «elegido».

Desafortunada, aunque inevitablemente, la tarea de la que estamos hablando es más estrecha y rutinaria que la de diseñar el algoritmo, lo que no impide, desde luego, que pueda alcanzar serias dificultades. Por regla general, las dificultades se asocian a la inadecuación del lenguaje con respecto al problema. Por esa razón la elección de lenguaje es, en teoría, una decisión importante, pero que, en la práctica, queda resuelta por el fabricante del computador por el simplificador método de no dar a elegir. Por ejemplo, tal microcomputador se presenta con un lenguaje ensamblador, con Basic y punto. Cuestión de mercado.

En lo que se refiere a los problemas, los lenguajes no son neutros, lo que quiere decir que los Fortran, Basic, Cobol, Lisp, PL/I, APL, Algol, Pascal, Modula, RPG, C, LOGO, etc. están, en mayor o menor medida, orientados a una clase más o menos amplia de problemas. Resulta casi malabarístico instruir en BASIC a un computador para manejar gráficos o listas de símbolos, o en Cobol para operar matrices de números reales. *Se produce un efecto distorsionante, generador de dificultades meramente instrumentales, por el hecho de emplear una herramienta poco adecuada, que, en términos de lenguajes de programación, equivale a utilizar un lenguaje desprovisto de los operadores requeridos por las estructuras de datos inherentes a la clase concreta de problema.* Se crean hábitos y triquiñuelas (y también rechazos) que, sobre ser desaconsejables en un buen estilo de programación, el tiempo convierte implacablemente en innecesarios.

Una dificultad adicional reside en la natural inmadurez de muchos lenguajes de programación que, definidos hace años y hoy muy extendidos, adolecen de deficiencias que la teoría y las técnicas de programación han ido corrigiendo en diseños posteriores.

Termino el análisis de esta tarea resaltando algo cuya importancia el tiempo ha puesto de manifiesto: las estructuras de datos se correlacionan fuertemente con la clase de problema, por los objetos y operaciones que en el mismo se manejan. Tal clarificación ha venido de la mano de los progresos de la programación y, a mi entender, convierten el estudio de las estructuras de datos en un tema más de las técnicas generales de construcción de algoritmos. Es decir, la elección de los constructos apropiados de control es parte esencial del desarrollo de un algoritmo, pero que no puede separarse más de los datos que manipula el algoritmo.

Históricamente, el uso del computador ha ido evolucionando y dedicándose, a grosso modo, primero al *cálculo*, después también al *tratamiento de datos* (que los americanos llaman data processing) y por último, en forma

amplia, a la *manipulación de símbolos*. Opino que debería enseñarse a diseñar algoritmos de varias clases, que convocaban distintas estructuras generales de datos. Ante esto se erigirá, a buen seguro, la barrera práctica de las estructuras mentales e instrumentales, históricamente orientadas al cálculo.

La última tarea presenta dificultades de un tipo parecido a las de la anterior: Manejo de las interfaces hardware y software del computador; ajustes sintácticos del lenguaje a las posibilidades del compilador; operaciones de transformación o maquillaje del programa para adaptarlo a los recursos de hardware existentes (sobre todo, memoria) y a los requerimientos de presentación de resultados; etc. Por desgracia, los computadores distan aún mucho de adecuarse a un uso simple y distendido por la mente humana.

Resumiendo, la tarea básica de la actividad central en informática se lleva a cabo sin computador. Desde la perspectiva de la enseñanza es una constatación trascendental, muy rica en posibilidades, tanto más cuanto que conocemos cuáles son los componentes de esa tarea.

Sería algo así como el lenguaje básico de la informática. Resultaría paradójico hacer informática sin intervención del computador. No se puede. (Sólo en parte se puede. Mejor aún, se debe. De paso se contrarrestaría la funesta adición a los terminales interactivos de computador que en la informática profesional sustituye demasiadas veces al esfuerzo de pensar). Tampoco puede enseñarse informática sin computador. El computador, a través más que nada de sus lenguajes, es la herramienta del aprendizaje, imprescindible para contrastar los diseños y estimular el aprendizaje. Hay que pagar un tributo debido a las dificultades que se han señalado, pero también hay que intentar minimizar su efecto. Corolario negativo, pertinente de difundir por lo habitual de su transgresión: jamás montar una formación básica de informática con un lenguaje de computador como médula.

En punto a los lenguajes y su aplicación educativa, hay que tener claras algunas ideas.

La primera es que su rigidez sintáctica obstaculiza y por tanto distrae esfuerzos para la finalidad principal. No quiero negar la virtud didáctica que a veces tienen las constricciones, ya que el trabajo real y la vida misma se presentan rodeados de constricciones, pero los lenguajes de computador tienden —se ha demostrado hasta la saciedad— a exagerar en este sentido, lo que, si siempre es negativo —también se ha demostrado—, en una situación educativa puede llegar a ser totalmente contraproducente.

En segundo lugar, la amplitud semántica del lenguaje se correlaciona positivamente con el número de posibilidades aplicativas y con el número de tipos y estructuras de datos. A mayor amplitud, mayor riqueza de lenguaje y mayor cantidad de sintaxis.

La consecuencia más neta, al menos desde un punto de vista de educación general, es que interesan lenguajes sencillos sintáctica y semánticamente, tanto más cuanto más reducida sea la edad de los aprendices. Complementariamente, el campo semántico del lenguaje debe ser el adecuado al tipo de objetos (conceptos, estructuras mentales) que corresponda al nivel educativo en que se quiera aplicar.

Por ilustrar con un ejemplo lo que se acaba de decir, examinemos un momento el lenguaje estos días de moda, el LOGO. Es un lenguaje muy sencillo sintácticamente y con campos semánticos orientados a niños: dibujos y listas de caracteres. De ahí su éxito, que se define en una palabra: adecuación. Libera suficientemente la mente de constricciones, produce imágenes, explora y opera con las estructuras mentales propias de una determinada fase de desarrollo psicológico (no en vano se articula sobre cono-

cimientos bien asentados de psicología de la inteligencia), que, entre otras cosas, son imágenes. El conjunto constituye, más que un instrumento de enseñanza de la informática, un instrumento para entrenarse a la acción de pensar (con las limitaciones señaladas en otro capítulo) y una introducción informal y práctica al diseño de algoritmos.

Decía que en el esquema de trabajo analizado se juntan rasgos de las ramas que he denominado fundamental, instrumental y aplicada, distinción que bien sé un tanto borrosa. Por la rama aplicada aparece el vínculo con tal o cual tipo de problema; en la rama instrumental se sumerge uno en cuanto se utiliza un lenguaje y ejecuta su programa en un computador real; y por la rama fundamental (que no necesariamente teórica) se está desde el instante en que se diseña un algoritmo con la finalidad de verlo computado por una máquina. Amén de que es posible entrar en profundidades, no ya sobre computabilidad, pero sí sobre complejidad algorítmica (comparación de algoritmos según tiempo de ejecución y ocupación de memoria).

Acabo de acotar, lo mejor que he podido dentro del esquematismo propio de un documento de esta naturaleza, el núcleo básico de formación en informática, que queda relativamente a salvo de los avances de la rama tecnológica-física. El caso de una formación más especializada es muy distinto, porque queda inevitablemente muy afectado por esa vertiente tecnológica-física. Tampoco es descartable que a medio plazo el núcleo básico se vea alterado. Daré unas pinceladas muy rápidas, ya que entrar de lleno en el tema exigiría espacio y tecnicismos.

En el interior mismo de la informática instrumental han surgido tensiones muy fuertes, por las secuelas típicas de un desarrollo sin precedentes. Aquí, las tensiones de fondo difícilmente hacen crisis y se resuelven, obstaculizadas por una barrera de conservadurismo (paradójica en un campo de tecnología de punta): la gigantesca inercia del enorme volumen económico directo y generado por la actividad informática. A título de ejemplo, voy a referirme a una de estas tensiones.

Durante muchos (?) años se han venido gestando y alumbando desajustes entre los conceptos de los lenguajes de alto nivel y las arquitecturas de los computadores. Se ha dado en llamar *desfase semántico* al conjunto de estos desajustes, que, de consumo con otros factores, han contribuido a echar leña al fuego de los problemas técnicos de la informática: elevados costes de desarrollo de software, infiabilidad del software, ejecución ineficiente, tamaño excesivo de los programas, complejidad de compiladores y sistemas operativos, distorsiones de los lenguajes, etc.

Como causa del tal estado de cosas se culpa a la opresión «ideológica» que el *modelo* de arquitectura de von Neumann ha venido ejerciendo todo el tiempo en los diseños de computadores.

Myers (G.J. Myers, *Advances in Computer Architecture* 2.ª ed., Wiley 1982) resume así las propiedades de una arquitectura tipo von Neumann:

1. Tiene una sola memoria para programas y datos, direccionable secuencialmente.
2. La memoria es lineal, unidimensional.
3. No hay distinción explícita entre instrucciones y datos.
4. Los datos no tienen significación intrínseca.

Por contraste, los lenguajes de alto nivel presentan aproximadamente estas características:

1. La memoria consiste en un conjunto de variables nominadas.
2. Los lenguajes manejan tipos de datos multidimensionales, como «arrays», estructuras, listas.

3. Distinguen tajantemente entre datos e instrucciones.
4. La significación de los datos les está asociada.

El análisis de tal divergencia de propiedades revela ciertas causas de los males que antes se han citado. Además, los diseñadores de los primeros lenguajes de alto nivel, generalmente los más usados en la actualidad, tampoco se han visto libres de la influencia del modelo de von Neumann y aunque paulatinamente se ha ido soltando amarras en esta cuestión, cualquier lenguaje en uso paga su tributo a ese modelo. En síntesis, una máquina von Neumann se estructura en una (o varias) unidad aritmético-lógica, una memoria y una unidad de control. En el lenguaje, la variable imita el dispositivo pasivo de memoria, la sentencia de asignación imita la unidad aritmético-lógica y la ejecución secuencial de instrucciones refleja la unidad de control. Dicha situación ha recibido el nombre de «cuello de botella de von Neumann» y a través del lenguaje, que en todo caso es bastante independiente de la máquina, termina por atrapar la metodología del programador que no se ve nunca libre de las limitaciones estructurales intrínsecas al modelo.

Esta situación se alivia en algunos de los últimos diseños: mejores lenguajes y arquitecturas más ajustadas (no convencionales). Cambios profundos, que se abren paso con dificultades, dentro de la informática instrumental, volteando presumiblemente en breve las técnicas y la enseñanza en los ámbitos especializados de la informática instrumental y de determinados sectores de la informática aplicada.

Sin embargo, la introducción plena del paralelismo y la abolición radical del modelo de von Neumann están en fase de estudio intensivo y elaborados muchos de sus principios teóricos. Sus consecuencias serán también radicales: nuevas arquitecturas, nuevos lenguajes, nueva programación. Por ahí pueden sobrevenir asimismo cambios en los que hoy se nos antoja intocable: las técnicas generales de construcción de algoritmos, aunque la inercia enorme del cuerpo de la informática nos asegura un respiro temporal en este terreno.

4.3 Sobre el que hace y el como lo hace en informática

Los artefactos que el ser humano ha creado se usan para hacer esto o aquello otro. Por lo general, de ellos sólo nos interesa su función y sus instrucciones de manejo, si así vale decirlo, para obtener esa función. Desconocemos todo o casi todo de cómo están diseñados y contruidos, de cómo están estructuradas internamente otras funciones más elementales. Los vemos como cajas negras. Simplemente, los usamos. Sólo esto es ya muchas veces bien complicado.

Extremando este razonamiento, llegaríamos a dividir los ciudadanos que tienen alguna relación con la informática en tres clases: los que hacen la informática (conocen *el cómo*) y los que usan la informática (se limitan *al qué*) o son sus sujetos pasivos. Especialistas y usuarios. Quien computa una exponencial con su calculadora de bolsillo u opera su cuenta corriente a través de un cajero automático emplea unos medios informáticos/cajas negras. Quien examina el recibo del teléfono que le ha enviado su banco, donde lo tiene domiciliado, ni siquiera tiene acceso personal activo a esta caja negra.

Se sabe que la tecnología informática es suficientemente intrincada como para que la clasificación descrita refleje de manera siquiera lejana la realidad. Por ejemplo, se necesitan muchas clases de especialistas, quienes, en lo referente a su trabajo, son usuarios de cajas negras preparadas por otros especialistas.

Pero, háganse todos los matices que se hagan, siempre habrá millones de situaciones en las que las personas ac-

ceden como máximo a manejar el *qué hace*. Cabe preguntarse entonces *qué sentido tendría generalizar la enseñanza del diseño, construcción y programación de algoritmos en la educación secundaria*, por ejemplo. ¿Para qué demonio necesitaría un ciudadano aprender a diseñar algoritmos si se los va a encontrar hechos y con unas sencillas manipulaciones será capaz de ejecutar algoritmos mil veces más complicados que los que podría desarrollar o aprender en sus estudios secundarios?

Si la respuesta es: para nada, justificaríamos un paso más hacia lo que G. Friedmann llamó *la civilización del conductor*, en la que «la gente no hace sino repetir determinadas pautas y formas de conducta, sin tener la menor idea de los motivos, leyes y fines que subyacen en ellas».

Pero, si queremos hacer algo para evitar dicho paso, debemos pensar que, en una actividad tan generalizada como ya va siendo la informática, es preciso que la gente común tenga un conocimiento mínimo, aunque básico y global, del cómo lo hace la informática. En este supuesto queda, desde luego, incluido el diseño, construcción y programación de algoritmos y no hay que olvidar incluir nociones de estructura, funcionamiento físico y lógico de los computadores y de los algoritmos que posibilitan la traducción y la ejecución de los algoritmos escritos en lenguaje de alto nivel.

4.4 Sobre informática y complejidad

Nadie duda de que la informática se cuenta entre los mayores avances tecnológicos de la humanidad. Por eso, coherente con lo expuesto en el capítulo titulado «Paradigma de complejidad», he de retomar ya más concretamente el tema de la complejidad.

Es mi convencimiento que: Todo país desarrollado necesita la informática como aparato para manejar la complejidad que exige el desarrollo y que resulta del desarrollo, por razones de competencia y de supervivencia. Ahora bien, la informática, en tanto que componente muy tecnológico, aporta complejidad, su complejidad. El problema está en si el saldo general de complejidad en la operación es satisfactorio en relación con el incremento del desarrollo y si es posible (y cómo) influir sobre dicho saldo.

Tenemos doble motivo, pues, para considerar la complejidad: la complejidad de la informática y la informática dentro de la complejidad general. El discurso, del que daré una brevísima idea, ha de moverse en numerosos planos. Convoquemos de nuevo al argumento de incompletitud técnica de la informática, desde una perspectiva de referencia biológica a las capacidades físicas e intelectuales del ser humano. Súmese a lo anterior un argumento de incompletitud ética, si no somos capaces de emplearla integrándole valores. A fin de cuentas, la informática se basa en informaciones digitalizadas procesadas binariamente, en la precisión de los datos y en la lógica implacable de algoritmos expresados en un lenguaje artificial rígido y escueto, rasgos todos muy discordantes con el desbordamiento de los tipos de informaciones, con la multiplicidad de significados y de valores, con la borrosidad y contradicción intrínsecas del ser humano y de la organización social. Obviamente, valoraciones de la informática en una dimensión de productivismo económico puntual, como tantas veces se hace, o en una dimensión puramente científica no son extrapolables al conjunto del fenómeno informático.

El tema está inmaduro, porque la atención que se le puede estar dedicando es minoritaria y temáticamente restringida. Recuerdo ahora al sistemista J. Melèse quien, en su libro «Approches Systémiques des Organisations (vers l'entreprise á complexité humaine)», escribe un primer capítulo magistral, que deberían leer todos los es-

pecialistas en informática para las organizaciones. Ahí, Melese despliega una sabiduría de muchos años de reflexión y de práctica en torno a la informática dentro de la complejidad de las empresas. Creo que es preciso llegar más lejos y plantear el tema con mayor generalidad.

Personalmente, llevo algún tiempo reflexionando sobre el asunto e intentando, como es lógico, conectar la reflexión con la acción. Citaré algunas de mis últimas aportaciones como prueba de que lo que estoy diciendo no son lucubraciones y como argucia honesta para poner peso en mis argumentos.

Entre otras cosas, he propuesto un modelo conceptual de complejidad para el proceso de desarrollo de software de gran formato, en una comunicación que estará ahora en manos del Comité de Programa de la Séptima Conferencia Internacional de Ingeniería del Software (Florida, U.S.A., 1984). Desconozco la suerte que pueda correr esa comunicación, titulada «Some Framework Ideas for Software Engineering Education». Si menciono este detalle, es porque, si me cabe alguna duda acerca de su eventual aceptación, la baso en que la informática del país más informático del mundo es muy «mecanocéntrica» y, por lo que sé, totalmente insensible, técnicamente hablando, a este problema de la complejidad. Me interesa ir aireando matices semejantes, porque veremos más adelante, cuando analicemos condiciones de entorno, que las actividades informáticas de países o culturas diferentes son (o pueden ser) diferentes.

También estoy aplicando técnicas de reducción de complejidad a la organización sistemática de la enseñanza de los tipos y estructuras de datos en el centro universitario superior donde imparto docencia. Es porque me preocupa descubrir lo que realmente hay que enseñar y cómo hay que enseñarlo. En el prólogo de un libro sobre computadores que tenemos de texto en dicho centro, he escrito: «Me pregunto si los fundamentos de los computadores serán los mismos dentro de 10 años. Creo que una parte permanecerá, aunque pienso que, sobre todo, el conjunto se ordenará de otra manera, tomará otros aspectos, tanto en su enfoque estructural como en su enfoque funcional. A mi modo de ver, la complejidad de los sistemas, con todos sus fenómenos conexos (abstracción, circularidad, concurrencia, indeterminismo, infiability, protocolización, jerarquización y ocultación) constituirá, constituye ya, un desafío. En tales circunstancias, deventrá más esencial localizar, buceando en el seno de la complejidad, aquello que posea de nuevo una razonable permanencia».

La noción de complejidad, con sus propiedades de concurrencia, complementariedad y antagonismo, me ha guiado para sentar las bases muy precisas del sistema de formación de la primera empresa nacional de servicios de informática y telemática. Una parte muy esquematizada de ese trabajo está recogida en las actas de la Conferencia IFAC/IFIP sobre Training for Tomorrow, ya citada, con el título de «Training Organization of a Middle-Size Company Engaged in Information technology Services: Theory and Practice»; el resto y detalles argumentales y operativos, en documentos internos de la empresa.

Hay otros trabajos míos o de colaboradores, que han surgido como fruto de mi interés por ver reunidos en la práctica el enfoque sistémico y la informática, en la actualidad bastante divorciados. Voy a resumir a continuación las ideas que sobre complejidad e informática he presentado en el Décimo Congreso Internacional de Cibernética, con el título «Facing Informatics Via Three Level Complexity Views» y que clasifican *en tres niveles la valoración y estudio de la informática a través de la complejidad*.

En primer lugar, hay una clase de complejidad que

todo el mundo percibe: la complejidad de un objeto concreto y aislado, ubicado normalmente dentro de una de las parcelas universalmente reconocidas por la comunidad científica y técnica. Ahí entran la complejidad algorítmica, la complejidad de circuitos o la complejidad del software.

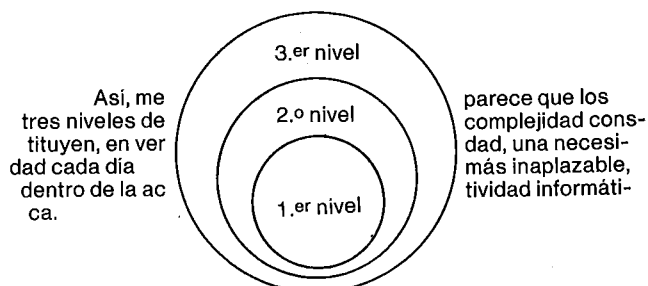
Un segundo nivel emerge en cuanto que la informática y todas las tecnologías de la información se manifiestan siempre por medio de grupos de elementos interconectados. Un sistema operativo es un conjunto de programas. Un sistema de información es un conjunto formado por un conjunto de elementos hardware, un conjunto de elementos software y un conjunto de personas. Y así un largo etcétera, que convoca la urgencia de elaborar y aplicar un nivel metodológico de complejidad sistemática, tendente a incluir en su campo los elementos y sistemas de todas las tecnologías de información.

Desafortunadamente, hay que señalar un obstáculo grave a ese objetivo y es que la práctica de la informática se ha ramificado en campos muy especializados cada día más aislados entre sí. Por nuestra parte, hemos intentado incoar un proceso de formulación de este segundo nivel, contribuyendo a ello con un modelo de observación de los sistemas complejos basado en las nociones de cuasidescomponibilidad y jerarquía multinivel, modelo ya publicado en congreso y que incluye al observador. El observador puede pertenecer a una de estas dos clases, la clase de los diseñadores o la clase de los usuarios. Por su parte, los diseñadores afrontan la complejidad en sus diseños y adoptan decisiones al respecto. En sus manos reside también la capacidad de tomar en cuenta al observador-usuario y el poder de codificar el sistema para mantener bajo control la complejidad de su uso.

Tampoco el segundo nivel de complejidad es suficiente en cuanto que los sistemas anteriores devienen elementos de un sistema antropológico. Ahí, la (supuesta) complejidad organizada de los artefactos se hermana en un nuevo ser con la complejidad desorganizada.

Surgen el desorden, la inadaptación, que ya han sido mencionados en varios lugares de este escrito. Toma el desorden muchas formas, algunas provenientes de no haber aplicado una metodología de complejidad (inexistente hoy) de segundo nivel entre una multiplicidad de diseñadores y agravadas por una multiplicidad de usuarios: desajustes de los lenguajes y las arquitecturas (ya citados); configuraciones incorrectas o desequilibradas; diseños inconsistentes; fallos electrónicos y mecánicos; infiability del software (ya citada); incompatibilidades entre materiales, códigos, lenguajes, protocolos...; delitos; etc.

Pero un tercer nivel de complejidad tiene su raíz en causas más profundas y requiere una mentalidad interdisciplinaria aceptadora del conflicto como ingrediente consustancial en la naturaleza y en la vida del hombre. El desorden está presente en la materia, en la vida y en la esfera antropológica. También, el orden. Caminan juntos, dialécticamente, dinámicamente juntos. No tiene nada de extraño que en los sistemas antropotécnicos, en donde interconectan esferas tan dispares, los desequilibrios se manifiesten con tanta fuerza.



4.5 Sobre historia e impactos sociales

He señalado ya como la práctica de la informática acaba cayendo en el típico sumidero de los conocimientos humanos: la fragmentación, que, en su caso, en connivencia con otros factores, le imbuje un sentido de altivez. Las consecuencias pueden ser importantes, desde el momento en que una herramienta trascendental tiende a quedar en manos de analfabetos tanto en la dimensión de pura técnica informática como en la cultural y social, animados además de una mentalidad altanera y de un poder tal vez circunstancial. Es un ejemplo de barbarie técnica, prefigurada hace muchos años por el pensador español Ortega y Gasset. Los profesionales informáticos están siendo formados en la actualidad en una tecnología de punta muy dura y difícil con una visión netamente simplista.

Ciertamente, la práctica se alimenta de diversos ingredientes y uno de ellos, en mi opinión más condicionante de lo que suele admitirse, es el educativo. El campo educativo actual en el dominio específico de la informática es un vivo reflejo de la situación que acaba de describirse. Me refiero, en primer lugar, a la parcelación del saber, que aquí también ha penetrado con toda su fuerza en forma de áreas didácticas mal intercomunicadas, para cuya constatación remito al lector interesado a planes de estudios y curricula (véanse especialmente, por su influencia, la curricula propuestos en el seno de instituciones tan universalmente prestigiosas como la A.C.M. y el I.E.E.E.).

Sin embargo, hay dos parcelas cuya característica más notable reside seguramente en la imposibilidad casi absoluta de ser localizadas en dichos planes y curricula: la historia de la informática y sus impactos sociales. Si sitúo juntos estos dos aspectos es porque creo que en el primero puede encontrarse la clave para abordar el segundo.

Cuando hablo de historia, no me refiero a la que podía leerse hace unos años en la primera página de los libros sobre computadores; y cuando hablo de impactos sociales no pienso para nada en sosas y yuxtapuestas descripciones del bien o del mal que causan los computadores en este o aquel sector de actividad.

La huella histórica, tan reciente, ha sido borrada. Pocos son los que conocen los conceptos que están en la génesis de la informática. Muchos de aquellos conceptos siguen vivos y aún aquellos que han sido superados suministran con gran frecuencia a través de su estudio una valoración de la informática actual. Si se concentrase el estudio en las décadas de los 30 y 40, pongamos por ejemplo, resaltaría el carácter universal e interdisciplinar de los esfuerzos científicos de entonces. Los computadores no son sólo una consecuencia apoteósica de la matemática, la física y la ingeniería, una materialización del pensamiento cartesiano, son también el producto de un momento de encrucijada en el que surgen la cibernética y la teoría general de sistemas como formas de un nuevo paradigma científico.

Algunos de los padres modernos de la informática, como Turing, von Neumann, Shannon, etc. nos han dejado una herencia intelectual, que estamos, en cierto modo, traicionando, pues de ella recogemos casi sólo aquello que posee un contenido específico y utilitario. En otras palabras, estos autores son estudiados (?) unidimensionalmente en informática, pese a que en ellos está, entre otras cosas, parte del embrión de la metodología de la complejidad. ¿Quién, que haya frecuentado la obra de von Neumann, podría dudar de que él habría sido el primero en abandonar su propio modelo de computador?

Los impactos sociales de la informática requieren un método multi-, inter-, transdisciplinar, o sea complejo, en el que, para empezar, no puede considerarse solamente la tecnología informática (como se ha repetido y repetido) y

que hay que configurar como instrumento activo de generación de valores.

Frente a esta necesidad, la teoría y la práctica de la informática parecen ir en sentido contrario, sentido que alumbra todo lo más una visión de complejidad de primer nivel, dando con ello la espalda incluso a sus mismos antecedentes históricos inmediatos.

Todas las consideraciones expuestas en este apartado afectan de modo prioritario a *los niveles educativos* de donde egresan *los profesionales de la informática, quienes, al devenir sus agentes difusores, deberían ser formados para unir a sus conocimientos y destrezas técnicas o científicas grados diversos de comprensión histórica, ética y social de aquello que difunden.*

5. Una cuestión de entorno: Las subculturas informáticas

A primera vista, parecería que la Informática, como la Física o la Arqueología, posee un carácter universal y que ha de ser estrictamente idéntica en Sri Lanka que en Alemania. Es verdad que la máquina de Turing, el lenguaje LOGO o la estructura von Neumann de los computadores, por citar sólo temas tratados aquí, son los mismos dondequiera, salvo diferencias triviales de presentación.

Ahora bien, *la informática es un fenómeno científico, técnico, económico, antropológico, etc., por lo que su multiplicidad de dimensiones*, que lo introduce de pleno en la complejidad, *lo convierte también en un sistema cultural.* Esto nos interesa, por cuanto que las diferencias de implantación del sistema cultural informático por países o comunidades sí pueden proporcionar pistas para el sistema educativo.

Mi aportación a este asunto se concreta en un modelo que, en un estado todavía embrionario, presenté por primera vez con motivo de una mesa redonda sobre Enseñanza de la Informática, en el centro de Cálculo de la Universidad Complutense de Madrid, el 15 de abril de 1976. Referencias posteriores indirectas lo han ampliado, aplicado y publicitado (insuficientemente), y existe un artículo pendiente de publicación con el título «Are There Five Informatics Subcultures?», del que voy a extraer los párrafos suficientes para hacerlo comprensible.

Según esta teoría, basada en observaciones durante quince años de variada vida profesional, el sistema cultural informático consta de cinco subsistemas, territorios o subculturas.

Todo el mundo sabe que el tipo de cuestiones técnicas que absorben la atención de un profesor del Departamento de Informática de la universidad tiene muy poco parecido, si es que tiene alguno, con las que preocupan al director de Proceso de Datos de un banco o de una empresa de fabricación de automóviles. También es obvio que lo que hay bajo la cubierta del Communications of the A.C.M. se asemeja como un huevo a una castaña con lo que uno se encuentra hojeando la revista Datamation, por ejemplo.

Dichas así, estas son observaciones triviales. Parecen traducir, sin más, las diferencias que separan distintas actividades profesionales y sus órganos de comunicación. No es así. Profundizando, se aprecian elementos sustantivos en dichas diferencias y, lo que es importante, se percibe que tienden a agruparse en racimos distintos, como si compusieran un sistema cuasidescomponible, ya que se ha mencionado este concepto. Por supuesto, tal apreciación no es contradictoria sino complementaria con otra apreciación anterior, referida a la parcelación de saberes. Es decir, un investigador sobre semántica de lenguajes concurrentes y un investigador sobre arquitecturas de ba-

ses de datos forman una pareja perfectamente incomunicada; un programador de sistemas en una instalación grande y un analista de la misma empresa viven un divorcio técnico totalmente asumido. Sin embargo, cada pareja forma parte del mismo racimo, si enfocamos la cosa desde un prisma sociocultural, ya que su incomunicación se produce dentro de un submundo de valores y comportamientos compartidos.

Por mi parte, veo cinco racimos. Son cinco subculturas, que generan sublenguajes y comportamientos diversos y peculiares, con canales específicos de comunicación y formación; cinco territorios con conflictos de poderes y sus habitantes típicos.

Antes de describir los rasgos generales de esas subculturas y de examinar someramente algunas consecuencias, debe subrayarse lo siguiente: ellas se interconectan e incluso se solapan (es decir, sus límites son borrosos) y se desarrollan de manera cuantitativamente diferente en cada país. ¡Precisamente, su cuantificación, tanto en términos absolutos como en términos relativos, le daría al concepto su importancia política, significando una medida del comportamiento global de la informática del país considerado!

He aquí los nombres de las cinco subculturas: a) Informática-ciencia; b) Informática-industria; c) Informática-negocio; d) Informática-uso; e) Informática-mito.

Quien vive la informática como *informática-ciencia* se aproxima a ella como un objeto científico, buscando lo que en él hay de fundamental, de saber, de verdad. Ese es el criterio principal, que luego se desgrana en una gama de temas y problemas. Es como una tensión que organiza, impulsa y guía su actividad. Y puede afectarle lo mismo al modesto programador del centro de cálculo de una compañía de seguros que al doctorando que pelea con su tesis sobre lógica temporal y no necesaria o solamente a este último, aunque esto sea un hecho más frecuente.

La *informática-industria* establece como valor supremo la producción: máquinas, servicios, software... Esto segrega unas técnicas, unas metodologías y como aparato de intercambio sus revistas, sus congresos, sus grupos de presión, diversos según el objeto o conjunto de objetos producidos.

Puede parecer extraño formar un grupo aparte con la *informática-negocio*, que aparentemente va indisolublemente unida a la informática-industria. En la informática-negocio las líneas se orientan por *patrones monetarios*. Es obvio que el negocio de la informática consiste en abrir y ampliar mercados a los productos de la industria informática. Pero realmente es posible que exista negocio de informática sin verse acompañado localmente de industria y no es un caso particular, sino que es algo que acontece en muchos países. Por tanto, es lícito separar ambas culturas ya que, en términos generales, éstas son generadas por los entes sociales de la industria y del negocio, respectivamente.

En la *informática-uso* militan todos aquellos que se sirven de la informática como instrumento para resolver sus problemas: aquí no interesa si el FORTRAN es más o menos elegante que el PASCAL, sino cual es más simple y eficaz para tal aplicación. No interesa saber si el computador está dotado con memoria cache, circuitos bipolares y sistema operativo jerarquizado, sino tan solo si puede sostener a 50 usuarios conectados simultáneamente, con un tiempo de respuesta inferior a una determinada cantidad. Se usa el computador para algo y este algo es lo que configura los valores superiores de la escala.

La mayoría de los ciudadanos cultos no informáticos andan por la subcultura que yo llamo *informática-mito*. Tienen una idea de la informática construida a través de la prensa, las novelas, algunas películas, la televisión, las

obras de ciencia-ficción. El computador, ese cerebro electrónico, es capaz de las cosas más increíbles para bien o para mal de la humanidad, ya que existen estas dos grandes versiones. Naturalmente, y salvo excepciones, esta subcultura es creada y difundida activamente por algunos ciudadanos que son periodistas, novelistas, directores y guionistas de cine y de TV, autores de ciencia ficción y ensayistas de las ciencias sociales, que se ocupan habitual o circunstancialmente de estos temas. La informática y su factotum, el computador, adquieren la categoría de mitos que planean sobre la vida de todos.

Necesitaría muchas páginas y bastante tiempo para explicar y demostrar que estas cinco categorías que estoy distinguiendo se corresponden en principio con las representaciones mentales y percepciones que individuos y entes sociales se hacen de la informática y que, por consiguiente, no tienen por qué coincidir con las clasificaciones oficiales. Las clasificaciones oficiales no recogen matices sociotécnicos y, a mi entender, sólo reconocen explícitamente dos categorías: la ciencia de la informática, situada en la universidad y en los centros de investigación públicos y privados, y la industria informática, periódicamente evaluada por las instituciones financieras, propia de las casas constructoras de material DP y de las sociedades de servicio; esta última subsume el conjunto formado por sus clientes de hardware, software y servicios.

Entiendo que la taxonomía descrita representa –mejor dicho, puede representar– un modelo descriptivo y también normativo en cuanto al estado de la informática de un país o comunidad. ¿Por qué?

Imaginemos simplistamente que el conjunto observable de la actividad informática pueda modelarse por cinco vectores de fuerza, cuyos ejes tienen direcciones distintas, en cuya punta de flecha se inscriben los nombres «saber», «producto», «dinero», «empleo instrumental» y «mito». La resultante de los vectores dependería de las intensidades de cada uno de ellos y podría teóricamente oscilar desde la mayor neutralidad hasta la predominancia absorbente de una de las fuerzas. Otra forma de verlo es como un sistema constituido por 5 subsistemas, interconectadas las salidas de unos con las entradas de otros. Los flujos y los intercambios son muy variados, por lo que también es lícito imaginarse el conjunto de la informática como un campo en donde se entrecruzan e interpenetran cinco flujos de representaciones. El saldo en cada punto emerge como una jerarquización más o menos compleja de los subsistemas, de las representaciones, de las subculturas, de las fuerzas, de los comportamientos. El sistema es dinámico, variable en el espacio y en el tiempo, y constituye la cultura informática dentro de estas coordenadas.

Es indudable que históricamente, abstracción hecha del espacio, desempeñan un papel más activo las tres primeras subculturas; en los primeros tiempos la informática-ciencia, después la informática-industria, y ahora la informática-negocio, han ido ocupando el primer puesto en la escala de influencias. En muy buena parte, las dos subculturas restantes han ido siendo creadas por las anteriores. También esto forma la historia, a la que antes se aludía.

La importancia de este hecho radica en que la informática-uso y la informática-mito son las subculturas de un número de individuos y de entes sociales inconmensurablemente superior a las otras que, sin embargo, las colonizan intelectualmente desde un punto de vista histórico. Dicho con otras palabras, sus ideas, sus métodos, sus creencias, su lenguaje, sus preferencias, les son sugeridas, enseñadas, impuestas. *Las decisiones políticas que afectan a, o son afectadas por, la informática se adoptan por gentes cuya subcultura informática anda habitualmente por los lugares más bajos de la jerarquía que configura en*

cada momento la cultura general informática de un país. Un tema que merece reflexión.

Otro tema es que el sistema cultural informático, siendo morfológicamente el mismo (presuntamente) con independencia del país, depende funcionalmente (y difiere entre países) de las circunstancias técnicas, económicas y culturales de cada país. Para ilustrarlo con un ejemplo, que servirá complementariamente para que el lector aprenda a aplicarlo a otros casos, tomemos los que mejor conozco: España y U.S.A.

En mi opinión, la cultura informática real global de España se compone de dosis muy importantes de informática-negocio e informática-mito, una dosis media de informática-uso y dosis irrisorias de informática-ciencia e informática-industria. Ese sistema es reproductor y por ello produce forzosamente inflación instrumental, ineficacia operativa y dependencia intelectual. Diagnóstico: muy mala salud, pese a las apariencias. Los términos educativos tienden a mimetizar acríticamente sistemas foráneos, pongamos el sistema estadounidense. Las decisiones más arriba aludidas carecen del beneficio contraponedor de las subculturas -ciencia e -industria. Entiendo que se escoran del viento que sopla fuerte desde la subcultura de informática-negocio, que no es lo mismo, repito, que el negocio de la informática. En el lapso en que redacté estas líneas, leo cosas «extrañas» en el periódico YA de Madrid de 27 de agosto de 1983, que me entregan en el avión de vuelta a Madrid desde el Congreso de Cibernética. Sin entrar a juzgar otros contenidos, entresaco las siguientes frases: «el alumno se acercará al <<mundo>> de los ordenadores», «el ordenador, siempre adelante», «para que el acceso al ordenador sea real y eficaz, el número de alumnos por grupo en esta asignatura se recomienda que sea de 24», «la enseñanza de esta asignatura será personalizada, lo que quiere decir que debe fomentar no sólo capacidades específicas, sino todas las que integren la personalidad del individuo».

El artículo del periódico se refiere a una próxima reforma de las enseñanzas medias, he ahí lo preocupante. Su contraste con este modesto escrito es abismal, con la ventaja fáctica de su lado, ya que sus palabras parecen traducir decisiones y hechos y aquí vertemos opiniones. Decimos que estas opiniones hay que someterlas a estudio y discusión y subrayamos que se trata de una pista para iniciar un camino que no conocemos para llegar a un punto que no conocemos. En el artículo se nos asegura que el ordenador (computador) va primero (nosotros, que después) y que el computador puede desarrollar toda la personalidad del individuo (nosotros, que una parte de las destrezas intelectuales). Y así, todo el artículo. Aquí se ha dejado escrito que en el año de gracia de 1983, no sabemos bien qué es la informática, pero el artículo garantiza que alguien (?) puede ser capaz de demostrar que se precisa un computador por cada 24 alumnos. Tal parece como si los razonamientos subyacentes en las comentadas decisiones estuvieran motorizadas por el mismo espíritu que guía los planes U.S.A. citados al principio del capítulo tercero.

La informática estadounidense exhibe una cultura dominada por la informática-industria, pero muy equilibrada por las demás. La informática-ciencia gira siempre en torno al computador (obsérvese que la denominación americana cuasiequivalente de informática es computer science) y, por eso, la cultura informática es mecanocéntrica. Otros valores de la cultura general del país impregnan la cultura informática: competitividad, optimismo, mecanicismo y ausencia del sentido completo de complejidad. Dentro del campo de la informática los veo como defectos, incluso para los U.S.A., país al que hay que respetar como primera potencia informática, por otro lado.

En tales circunstancias, se podría concluir que una copia cruda del sistema americano no es sólo una estupidez, es un riesgo (que se está cometiendo). España, -y países menos desarrollados, con mayor razón- no puede tener una subcultura de informática-industria. Le falta casi todo lo necesario para ello, empezando por la mínima tradición científica y técnica en las disciplinas correspondientes. Sí podría, en cambio, vertebrar su cultura informática alrededor del eje de informática-uso, cuidando estos tres parámetros: antropocentrismo, tecnologías de la información y complejidad. Lógicamente, la informática-ciencia, siempre imprescindible, se alinearía con ese eje. Sería una informática-uso/ciencia. ¿Hará falta señalar que la subcultura de informática-uso/ciencia debería integrarse y enriquecerse en lo posible con los valores culturales propios? Todo esto es mera técnica dentro de la «sabiduría del desarrollo».

No deja de rondarme la cabeza la idea de que un ámbito lingüístico que produce obras como El Aleph, Pedro Páramo o Cien Años de Soledad, cruzadas por un sentido complejo del espacio, del tiempo, de la información, de la vida y de lo real, sea un ámbito muy capaz de insertar la informática en la complejidad.

Personalmente, considero este modelo como un instrumento de política informática.

6. A modo de síntesis de conclusiones

A. Referencias aplicativas

- A1. Aplicación relativizada al sistema educativo concreto.
- A2. Campo de enseñanza considerado: aspectos más generales de la informática; no se ha considerado el computador como soporte de la enseñanza de otras materias. Horizonte temporal: medio y largo plazo. Previamente, hay que ponerse de acuerdo sobre ideas y propuestas como las que se presentan en este estudio, después elaboradas y a continuación empezar a ponerlas en práctica.

B. Principios

- B1. Principio general de insuficiencia de la informática, en los planos biológico, social, técnico,... En el plano educativo, sólo el conjunto de las tecnologías de la información ofrecen posibilidades como medio material para la renovación total y absoluta de la enseñanza (a muy largo plazo), y no sólo de las matemáticas.
- B2. Principio general de complejidad, como marco y eje de la enseñanza completa e innovadora de la informática.
- B3. Principio local (España, países latinoamericanos): *qué hace, cómo lo hace, para qué lo hace*, orientados por subcultura de informática-uso/ciencia. Aplicable a la construcción de los contenidos y formas de planes de estudios concretos. En todo caso, búsqueda de una vía propia.

7. Notas pragmáticas para después de unas pautas

Esta ponencia ha trazado un marco y definido algunos rasgos generales concretos de la enseñanza de la informática esforzándose en justificarlos, dentro de la brevedad obligada.

El ponente cree que éstos son los puntos cruciales sobre los que hay que plantear el debate, para rebatirlos, modificarlos o aceptarlos. Pero los resultados tienen que

C. Resumen de pautas

C1. PARADIGMA-GUIA

<u>Rasgo</u>	<u>Elementos</u>	<u>Observaciones</u>
Complejidad	<ul style="list-style-type: none"> - Concepto, estructura y arquitectura - 2 caras inseparables - Multidisciplinar - enfoque de sistemas - información, entidad compleja - 3 niveles de complejidad informática 	<ul style="list-style-type: none"> - Profundización en la enseñanza de los futuros profesionales informáticos - Obstáculos mentales - Insuficiente formalización - ampliar concepto de sistema

C2. NUCLEO BASICO El cómo lo hace mínimo. No se ve afectada su enseñanza por el paradigma complejidad.

<u>Rasgo</u>	<u>Elementos</u>	<u>Observaciones</u>
Algoritmo	Diseño: <ul style="list-style-type: none"> - Razonamiento lógico - Técnicas construcción algoritmos y estructuras de datos - Manejo preciso de lengua natural 	<ul style="list-style-type: none"> - Puede enseñarse, con total independencia del computador - Ajustar estructuras de datos a clases de problemas. Romper la limitación clásica de solo algoritmos de cálculo.
<u>Rasgo</u>	<u>Elementos</u> <ul style="list-style-type: none"> - Lengua estilizada natural - Técnicas de resolución de problemas. 	<u>Observaciones</u> <ul style="list-style-type: none"> - Técnicas de resolución de problemas, en la enseñanza avanzada. El resto, posible en la enseñanza secundaria. - Informática, como herramienta de formación intelectual.
	Expresión y ejecución: <ul style="list-style-type: none"> - Lenguajes de alto nivel - Computador 	<ul style="list-style-type: none"> - ¡Ojo con los lenguajes! - Sintaxis y semántica sencillas, adaptadas gradualmente a los tipos de problemas. - Siempre subsidiarios a la tarea de diseño. - Evolución y obsolescencia - Seleccionar un mínimo y preparar muy cuidadosamente para enseñanza secundaria. - Los aspectos tecnológicos van sometidos a un ritmo de cambio muy grande.
Estructura, funcionamiento físico y lógico de los computadores.	<ul style="list-style-type: none"> - Unidades fundamentales - Información digital binaria. - Algoritmos básicos de funcionamiento del computador, a partir de un lenguaje alto nivel. 	

C3. CONTEXTUALIZACION BASICA Guiada por el principio de complejidad. Profundizarla en la enseñanza de los futuros profesionales informáticos.

<u>Rasgo</u>	<u>Elementos</u>	<u>Observaciones</u>
Tecnologías de información	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición, procesamiento, almacenamiento y diseminación de información vocal, icónica, textual, numérica y sobre el mundo de la materia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Punto de vista técnico, centrado sobre el concepto, formas y operaciones con la información. - Énfasis obviamente en la tecnología informática. - Analizar tendencias de las tecnologías.
Historia	<ul style="list-style-type: none"> - Conceptos - Descubrimientos - relaciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Analizar en un contexto científico-técnico (matemática, física, ingeniería) y social. - Resaltar etapas y extraer consecuencias. - Conexión con otros desarrollos tecnológicos.
Impactos sociales	<ul style="list-style-type: none"> - Sociología - Economía - Ciencia - Vida 	<ul style="list-style-type: none"> - Cultura informática. - No limitarse a análisis pasivos, sino orientar a segregación de métodos de evaluación de efectos y de valores, dentro de la noción de complejidad.

llevarse luego al terreno práctico, materializándose en decisiones para todos y cada uno de los niveles educativos. He ahí una cuestión pragmática que abre la puerta a un batallón de interrogantes, *sobre cuyas respuestas, cualesquiera que sean en cada caso, tenemos la previa certidumbre de que han de formar un conjunto fuertemente interrelacionado entre sí y con su contexto social.*

Sobre los tipos de interrogantes que cabe considerar, vamos a ver a título de ejemplo una muestra en este anexo, aplicable al ciclo de la enseñanza secundaria general. En la Síntesis de Conclusiones se han esquematizado, para mejor memoria, los apartados de Núcleo Básico y de Contextualización Básica. Imaginemos que nos planteamos su desarrollo e implantación en la Enseñanza Secundaria; de manera global, surgen las preguntas: ¿por qué? ¿qué? ¿cómo? ¿dónde? ¿cuándo? ¿por quién?

De manera más pormenorizada, la primera pregunta que hay que hacerse es si hay que introducir la informática como contenido de los programas de estudio de la Enseñanza Secundaria. En una sociedad de información tan avanzada tecnológicamente como es la estadounidense, una comisión presidencial para la Excellence in Education acaba de recomendar la introducción de media asignatura (medio año académico) de informática en lo que allí llaman las high schools (*A Nation at Risk*, main section, 26 abril 1983, publicada en Communications of the ACM, julio 1983, Vol. 26, No. 7, pp. 467-478). Huelga decir que el informe emitido por dicha comisión, ahora mismo en fase de debate público, se refiere al conjunto de la enseñanza, por lo que hay que suponer que tanto el hecho de recomendar la informática como el de precisar su dosis obedecen a un estudio ponderado de todas las temáticas y de las circunstancias de ese país.

En el caso de respuesta afirmativa, quedan todavía muchas cuestiones importantes. ¿Se introduce en uno o en varios años de la enseñanza secundaria y en cuál o cuáles? ¿con qué contenidos? ¿con qué profundidad? ¿de qué forma: en asignatura específica, asignatura obligatoria u optativa, trufada entre los contenidos de las Matemáticas, de la Física, de las Ciencias Sociales?; de no ser posible incorporar todos los epígrafes recomendados en nuestra ponencia, ¿cuáles deberían ser prioritarios y por qué?; ¿con qué y cuántos materiales de equipo habría que montar la enseñanza?

Por el mismo camino, se llega a preguntas cada vez más técnicas: ¿qué tipos de lengua estilizada para expresar los algoritmos?; ¿qué lenguaje o lenguajes?; ¿qué estructuras de datos y en qué orden?; ¿qué configuración hardware/software para los trabajos prácticos?

Un bloque de preguntas, imposible de responder sin dar respuesta al tiempo a las otras, se refiere al profesorado. ¿Han de ser especialistas en informática, matemáticos, físicos, sociólogos? ¿Cómo se formaría este profesorado?

Una pregunta no menos interesante es de carácter semántico, tras el que se esconde, de acuerdo con esta ponencia, un tema de fondo. ¿Hemos de hablar, siguiendo la casi universal tendencia reduccionista, de informática o sería mejor ampliar el discurso hablando de tecnologías de la información u otra denominación más adecuada? ¿Dónde quedan, si no, las técnicas de instrumentación y observación científica, las técnicas de comunicaciones, las técnicas de imagen y sonido, las técnicas de control y automatismos?

Si nos fijamos de nuevo en la síntesis citada, vemos que, junto a elementos tan generales y trascendentales como el *razonamiento lógico* y el *manejo preciso de la lengua natural*, —destrezas básicas y que por tanto son prerequisites para adentrarse en la informática, aún cayendo fuera de ella—, el resto parece agruparse aproxi-

madamente en tres bloques: a) Diseño, expresión y ejecución de algoritmos; estructura lógica de los computadores (*bloque próximo a las Matemáticas*); b) Estructura física de los computadores, tecnologías físicas de la información, Historia científico-técnica (*Bloque de Ciencias*); c) Impactos sociales y valores (*Bloque de Estudios Sociales*).

La distinción que acaba de hacerse, además de ser algo borrosa, obedece a unos criterios clásicos. Podría servir de ayuda si hubiera que distribuir la enseñanza entre las materias conexas a esos bloques, aunque lo cierto es que las tecnologías de la información se ajustan mal a la estructura conocida de bloques. Quizá cualquier solución que fuera materializada distribuidamente por bloques correría el riesgo de adolecer de problemas de coordinación y por tanto entraría en peligro de desintegración, aunque acaso se beneficiara de ventajas estratégicas en su implantación. Teóricamente, si se aceptasen en su totalidad las pautas que esta ponencia presenta, parece que una solución óptima sería introducir el diseño y expresión de algoritmos dentro de las asignaturas de matemáticas y culminar la operación con una asignatura específica sobre la información y sus tecnologías, que cumpliera en las dosis adecuadas el programa aquí propuesto. El profesorado de esta asignatura estaría compuesto por titulados de las ramas de especialidad informática, a condición de que su programa de estudios (o posterior especialización) incluyera de manera expresa y profunda los rasgos que se han elaborado en esta ponencia. (Ya se dijo en el primer capítulo que había que considerar «los dominios educativos especializados»).

Es obvio que los egresados de esas ramas de especialidad informática pueden ser informáticos, ingenieros de telecomunicación o de otras técnicas, matemáticos, físicos, etc. u otras titulaciones, según los países. Esto quiere decir que sus perfiles serían mutuamente distintos, aún aportando unos rasgos básicos comunes para el caso de aspirar a profesar en la enseñanza secundaria. Sería pertinente que pudieran contar, previamente a esta dedicación, con unos textos, unos programas, unos cursillos.

Contestar todas estas preguntas y confirmar o negar algún principio de respuesta que aquí se ha esbozado sólo puede hacerse después de muchas aportaciones reflexivas y ponderaciones. Hay trabajos en curso, aquí y allá, que servirán de gran ayuda para impulsar esta tarea que, a fin de cuentas, tendría que pasar por una fase de proyectos institucionales de elaboración y experimentación científicas (todo lo contrario de la improvisación que suele acechar; determinados enfoques, prácticas e ideas que circulan por algunos centros de enseñanza secundaria están en contradicción con el núcleo de esta ponencia). Una mención así abre también una serie de preguntas acerca de la estrategia a seguir y los medios necesarios al respecto, para evitar que los esfuerzos realizados se queden en agua de borrajas o, lo que tal vez sea peor, pasen sin los debidos controles al estado de hechos definitivos y bendecidos.

Apostemos porque las cosas se desenvuelvan dentro del cuadro de conceptos aquí pergeñado: complejidad; sabiduría del desarrollo y aprendizaje de innovación; integración conceptual de tecnologías; enfoque algorítmico y funcional; valores humanos y sociales; utilización del computador en conexión con otras herramientas tecnológicas y clásicas para la formación plena de la inteligencia y la personalidad; evolución y evanescencia de los materiales, del software y de la estructura instrumental, etc.